УДК 629.3.017.5

© И. С. Гладушевский, аспирант

© С. С. Евтюков, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ese-89@mail.ru, iglad6@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-175-179

© I. S. Gladushevskiy, post-graduate student

© S. S. Evtyukov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: ese-89@mail.ru, iglad6@gmail.com

МЕТОД РАСЧЕТА ТОРМОЗНОГО ПУТИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С ДОРОГОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ

TECHNIQUE OF THE BRAKING DISTANCE CALCULATION TAKING INTO ACCOUNT THE CHANGE OF COEFFICIENT OF THE WHEEL GRIP DEPENDING ON THE SPEED

Предложен вариант совершенствования методики оценки тормозного пути транспортного средства на сухом асфальтобетонном покрытии, основанный на принятии коэффициента сцепления протектора шины транспортного средства с асфальтобетонным покрытием за динамическую характеристику, имеющую прямую зависимость от скорости движения и рисунка протектора. Представлена математическая модель и показаны результаты расчета.

Ключевые слова: транспорт, протектор, тормозной путь, сцепление с дорогой, эффективность торможения.

The article offers an option of improving the assessment technique of the vehicle braking distance in conditions of dry asphalt concrete surface, based on the coefficient of the vehicle tire protector grip of asphalt concrete, which is regarded as dynamic characteristic with a direct dependence on the vehicle speed and protector pattern. A mathematical model is presented, and results of calculation are given.

Keywords: transport, protector, braking distance, grip of wheel, braking efficiency.

Отсутствие четкого представления о предмете управляемости влечет за собой нечеткую ориентацию исследовательских работ в области безопасного движения на транспорте и как результат — значительное недоиспользование возможностей машин во всех областях. Полная автоматизация управления, основанная на расчете движения транспортного средства, в момент торможения на данный момент невозможна. Но существование поэтапной автоматизации сводит к минимуму риск возникновения ошибок во время движения [1]. В связи с этим представляет интерес понятие управляемости транспортного средства. Рассмотрев множество существующих толкований этого понятия, можно сделать вывод, что нельзя проводить исследования тех или иных свойств какой-либо машины, если нет достаточной четкости в определении этих свойств.

С этим замечанием нельзя не согласиться. Тем не менее в машиностроении всего мира происходит именно так. Исследуются вопросы тормозных свойств транспортного средства — это слишком важное качество в эксплуатации машин, чтобы им можно было пренебречь, — без четкого общепринятого стандарта, определяющего управляемость транспортного средства в момент торможения.

Влияние некоторых функций непосредственно на управление транспортным средством является важнейшим средством для обеспечения безопасности дорожного движения. Для решения данной проблемы ежегодно разрабатывается и внедряется документация. Также существуют мероприятия, направленные на повышение безопасности дорожного движения и сведения к минимуму аварийных ситуаций. Большинство

парков транспортных средств, самостоятельно обслуживающих свою технику, состоит из машин, эксплуатируемых более 5–7 лет. Появление обширного количества автотранспортных предприятий, занимающихся перевозками, повлекло за собой снижение должного уровня технического диагностирования и обслуживания транспортных средств. В свою очередь, современные автопроизводители и производители запасных частей целенаправленно уменьшают срок службы транспортных средств и комплектующих к ним с целью увеличения прибыли и продаж [2]. Из-за этого страдают показатели надежности и долговечности.

Тормозной путь транспортного средства — важная составляющая при расследовании ДТП. От начала срабатывания тормозной системы до полной остановки транспортного средства (процесс и метод расчета описан в работах [3–8]) зависит расстояние, пройденное автомобилем. Но помимо времени срабатывания тормозной системы и усилия в ней существует немаловажный фактор сцепления колес с дорожным покрытием [9–16]. Эта величина и позволяет нам более точно определить тормозной путь, пройденный автомобилем. Влияние данного коэффициента на расчет может сильно скорректировать исходный результат. Так, на сухом асфальтобетонном покрытии отличие нового и изношенного протектора при торможении со 130 км/ч может изменить тормозной путь более чем на ≈10 м в пользу изношенного. Коэффициент сцепления изношенной шины будет выше в сухую погоду за счет увеличения коэффициента сцепления колеса с дорогой, находящегося под весом машины.

Помимо существования коэффициента сцепления, не стоит забывать и про коэффициент эффективности торможения. В экспертной практике значение коэффициента эффективности K_z выбирается в зависимости от коэффициента сцепления [17].

Тогда формула расчета примет вид:

$$S_{\text{тор. путь}} = \sum_n \frac{\Delta V_n^2}{2J_{n \text{ зам}}}, \quad (1)$$

где n — количество интервалов скорости; $J_{n \text{ зам}}$ — замедление при экстренном торможении транспортного средства на определенном интервале:

$$J_{n \text{ зам}} = \frac{g(m_{\text{тор}} \cos \alpha \varphi_n + m_a g \sin \alpha) + P_{n \text{ в}}}{m_a \delta K_{zn}}, \quad (2)$$

где g — ускорение свободного падения; $m_{\text{тор}}$ — масса, приходящаяся на заторможенные колеса; α — угол продольного наклона дороги; φ_n — коэффициент сцепления колес с дорогой на определенном интервале; m_a — фактическая масса АТС; K_{zn} — коэффициент эффективности торможения на определенном интервале; δ — коэффициент учета вращающихся масс:

$$\delta = 1 + \left(\frac{z_k J_k}{m_a r_k^2} \right), \quad (3)$$

где z_k — число вращающихся колес; J_k — момент инерции колес, кг·м²; r_k — статический радиус колес; $P_{n \text{ в}}$ — сила сопротивления воздуха, считается по формуле

$$P_{n \text{ в}} = \frac{C_x F_A V_n^2}{2}, \quad (4)$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления; ρ — плотность воздуха, кг/м³; F_A — лобовая площадь, м²; V_n — скорость движения ТС.

В формуле (2) коэффициент сцепления колес с дорогой будет меняться в зависимости от скорости. С учетом нелинейности зависимости замедления от скорости ТС, при расчете времени и пути лучше использовать приближенные методы интегрирования. Задав число интервалов изменения скорости, можно более точно определить тормозной путь, так как при изменении скорости меняется и коэффициент сцепления колес с дорогой.

Результаты расчета тормозного пути а/м ГАЗ-2705 на примере Michelin Agilis 81 размера 185/75 R16 представлены в таблице и на рисунке.

Проведя расчет и сравнительный анализ тормозного пути шины Michelin Agilis 81 185/75 R16C 104R по трем интервалам, можно сказать, что тормозной путь на изношенной резине уменьшается на ≈10 м на сухом асфальтобетонном покрытии.

Уменьшение тормозного пути в сухую погоду приводит к критическому увеличению тормозного пути в дождь.

Предложенный метод позволяет увеличить точность расчетов при расследовании ДТП. Применение данного метода станет более распространено после того, как производители автомобильных шин начнут указывать не только индекс скорости, но и индекс сцепления колеса с дорогой.

**Тормозной путь на сухом асфальтобетонном покрытии с глубиной протектора
7,6–7,9 (новая резина) и ≤1,6 (изношенная резина)**

Марка резины	Michelin Agilis 81 185/75 R16C 104R					
Глубина протектора, мм	7,6–7,9			≤1,6		
Скорость, м/с	36–25	25–13	13–0	36–25	25–13	13–0
Коэффициент сцепления	0,75	0,95	0,85	0,90	0,95	1,00
Коэффициент эффективности торможения	1,35	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Замедление на горизонте, м/с ²	5,41	6,39	5,64	6,21	6,39	6,64
Время движения, с	2,03	1,88	2,30	1,77	1,88	1,96
Пройденный путь, м	62,02	35,69	14,98	54,03	35,69	12,73
Тормозной путь, м	112,68			102,45

Тормозной путь шины Michelin Agilis 81 185/75 R16C 104R на сухом асфальтобетонном покрытии с глубиной протектора 7,6–7,9 (новая резина) и ≤1,6 (изношенная резина)

Библиографический список

1. Гладушевский И. С., Шаронов А. А., Пирогов Д. И. Прогнозирование автоматизации функции управления // Серия «Автомобильные дороги и транспорт»: сб. статей магистрантов и аспирантов. Вып. 1. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 79–81.
2. Гладушевский И. С. Тренд даунсайзинга двигателей. Тенденции развития // Магистратура — автотранспортной отрасли: материалы II Всерос. межвуз. конф. «Магистерские слушания». 26–27 октября 2017 г. В 2 ч. СПб.: СПбГАСУ, 2017. Ч. 1. С. 116–120.
3. Евтюков С. А., Подопригора Н. В. Совершенствование методики вычисления остановочного пути // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4 (33). С. 214–219.

4. Евтюков С. А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 97.
5. Пучкин В. А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий: База данных. Экспертная техника. Методы решений. Ростов н/Д: ИПО ПИ ЮФУ, 2010. 400 с.
6. Домке Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 288 с.
7. Евтюков С. А., Пучкин В. А. Судебная автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий. СПб.: ИД «Петрополис», 2017. 416 с.
8. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Справочник по экспертизе ДТП. СПб.: ИД «Петрополис», 2015. 512 с.
9. Куракина Е. В., Евтюков С. А., Голов Е. В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. СПб.: ИД «Петрополис», 2017. 204 с.

10. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2004. 288 с.
11. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб.: СПбГАСУ, 2012. 310 с.
12. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: ИД «Петрополис», 2012. 324 с.
13. Глазков В. Ф., Евтюков С. А. Основы теории надежности, работоспособности и диагностики машин. СПб.: ИД «Петрополис», 2011. 450 с.
14. Абелев М. Ю., Россинский Б. В., Решетников Б. М., Суворов Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП. М.: Экзамен; Право и закон, 2004. 208 с.
15. Куракина Е. В., Евтюков С. А. Исследование влияния сцепных качеств дорог на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 5 (40). С. 166–172.
16. Лукьянчук А. Д. Безопасность транспортных средств. Минск: Белорусский нац. техн. ун-т, 2012. 152 с.
17. Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Транспорт, 1989. 210 с.
18. Куракина Е. В., Евтюков С. С. Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при автотехнической экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 216–223.
19. Евтюков С. С., Чудакова Н. В. Применение установившегося замедления транспортного средства в экспертной практике // «Инновации на транспорте и в машиностроении»: сб. тр. IV междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 28–29 апреля 2016 г. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. Т. I. С. 48–52.
20. Евтюков С. С., Куракина Е. В. Влияние параметров дороги на определение скорости движения при экспертном исследовании ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 1 (42). С. 103–108.
21. Евтюков С. С., Евтюков С. А. Параметры, влияющие на сцепные качества покрытий автодорог // Вестник Тувинского гос. ун-та. 2013. № 3 (18). Технические и физико-математические науки. С. 75–81.
- graduates “Highways and transport”]. Iss. 1. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, pp. 79–81.
2. Gladushevskiy I. S. *Trend downsizinga dvigateley. Tendentsii razvitiya* [Engine downsizing trend. Development trends]. *Trudy II Vseros. mezhvuz. konf. «Magisterskie slushaniya» 26–27 oktyabrya 2017 g.* [Proc. of the 2-nd All-Russian sci. conf. “Masters’ workshop”]. In 2 parts. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2017, pt. 1, pp. 116–120.
3. Evtyukov S. A., Podoprigora N. V. *Sovershenstvovanie metodiki vychisleniya ostanovochного puti* [Improving the calculation technique for braking distance]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2012, no. 4 (33), pp. 214–219.
4. Evtyukov S. A. *Vliyanie faktorov na stsepnnye kachestva pokrytiy avtomobil’nykh dorog* [Influence of factors on the coupling quality of road surfaces]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2012, no. 3, 97 p.
5. Puchkin V. A. *Osnovy ehkspertnogo analiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy: Baza dannykh. Ehkspertnaya tekhnika. Metody resheniy* [The basics of expert analysis of road traffic accidents: Database. Examination technique. Methods of solution]. Rostov-on-D, YuFU Publ., 2010, 400 p.
6. Domke Eh. R. *Rassledovanie i ehkspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Investigation and examination of traffic accidents]. 2-nd ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2012, 288 p.
7. Evtyukov S. A., Puchkin V. A. *Sudebnaya avtotekhnicheskaya ehkspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Judicial technical expertise of road accidents]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 416 p.
8. Evtyukov S. A., Vasil’ev Ya. V. *Spravochnik po ehkspertize DTP* [Handbook on road accident examination]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2015, 512 p.
9. Kurakina E. V., Evtyukov S. A., Golov E. V. *Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Reconstruction of road traffic accidents]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 204 p.
10. Evtyukov S. A., Vasil’ev Ya. V. *Rassledovanie i ehkspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Investigation and examination of road traffic accidents]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, DNK Publ., 2004, 288 p.
11. Evtyukov S. A., Vasil’ev Ya. V. *Ehkspertiza DTP: metody i tekhnologii* [Examination of road accidents: methods and techniques]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2012, 310 p.
12. Evtyukov S. A., Vasil’ev Ya. V. *Rekonstruktsiya i ehkspertiza DTP v primerakh* [Reconstruction and examination of road traffic accidents in examples]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2012, 324 p.

References

1. Gladushevskiy I. S., Sharonov A. A., Pirogov D. I. *Prognozirovanie avtomatizatsii funktsii upravleniya* [Forecasting of control functions automation]. *Sb. statey magistrantov i aspirantov Seriya «Avtomobil’nye dorogi i transport»* [Coll. works of undergraduates and post-

13. Glazkov V. F., Evtyukov S. A. *Osnovy teorii nadezhnosti, rabotosposobnosti i diagnostiki mashin* [Fundamentals of the theory of reliability, work performance and diagnostics of vehicles]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2011, 450 p.
14. Abelev M. Yu., Rossinskiy B. V., Reshetnikov B. M., Suvorov Yu. B. *Sudebnaya dorozhno-transportnaya ehkspertiza. Sudebno-ehkspertnaya otsenka deystviy voditeley i drugikh lits, otvetstvennykh za obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, na uchastkakh DTP* [Judicial traffic examination. Forensic expert assessment of the actions of drivers and other persons responsible for road safety in road accident section]. Moscow, Ehkzamen, Pravo i Zakon Publ., 2004, 208 p.
15. Kurakina E. V., Evtyukov S. A. *Issledovanie vliyaniya stsepykh kachestv dorog na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya* [Study of the effect of the coupling qualities of the road on traffic safety]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 5 (40), pp. 166–172.
16. Luk'yanchuk A. D. *Bezopasnost' transportnykh sredstv* [Safety of vehicles]. Minsk, Belorusskiynats.tekhn. un-t Publ., 2012, 152 p. 17.
17. Ilarionov V. A. *Ehkspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Examination of road accidents]. Moscow, Transport Publ., 1989, 210 p.
18. Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Issledovanie stsepykh kharakteristik dorozhnogo pokrytiya pri avtotekhnicheskoy ehkspertize DTP* [Investigation of the adhesion characteristics of the road surface in the technical examination of road accidents]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 5 (52), pp. 216–223.
19. Evtyukov S. S., Chudakova N. V. *Primenenie ustanovivshegosya zamedleniya transportnogo sredstva v ehkspertnoy praktike* [Application of the steady-state vehicle deceleration in expert practice]. *Trudy IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburg, 28–29 aprelya 2016 g. «Innovatsii na transporte i v mashnostroenii»* [Proc. of the IV Int. sci. - pract. conf. St. Petersburg, April 28–29, 2016 “Innovations in transport and machine-building”]. St. Petersburg, Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy» Publ., 2016, vol. I, pp. 48–52.
20. Evtyukov S. S., Kurakina E. V. *Vliyanie parametrov dorogi na opredelenie skorosti dvizheniya pri ehkspertnom issledovanii DTP* [The influence of road parameters defining the motion speed during the expert study of road accidents]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2014, no. 1 (42), pp. 103–108.
21. Evtyukov S. S., Evtyukov S. A. *Parametry, vliyayushchie na stsepye kachestva pokrytiy avtodorog* [Parameters affecting the coupling quality of the of highway road coverings]. *Vestnik Tuvinskogo gos. un-ta. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki – Bulletin of Tuvan State University. Technical and physical-mathematical sciences*, 2013, no. 3 (18).. S. 75–81.